



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119930** (13) **C2**

(51) МПК (2019.01)

G11C 5/02 (2006.01)

G11C 13/00

H01L 45/00

H01L 29/68 (2006.01)

H01L 27/00

B81B 1/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2017 12097**

(22) Дата подання заявки: **08.12.2017**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **27.08.2019**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **10.06.2019, Бюл.№ 11**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **27.08.2019, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):

**Ходаковський Микола Іванович (UA),
Мудренко Максим Ігоревич (UA)**

(73) Власник(и):

**ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М.
ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ,**

просп. Академіка Глушкова, 40, м. Київ-187,
03187 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

US 2012/0074507 A1, 29.03.2012

US 2014/0264225 A1, 18.09.2014

US 8946046 B1, 03.02.2015

US 2016/0093800 A1, 31.03.2016

US 2014/0070156 A1, 13.03.2014

US 8507968 B2, 13.08.2013

US 8502343 B1, 06.08.2013

RU 148262 U1, 27.11.2014

RU 2449416 C1, 27.04.2012

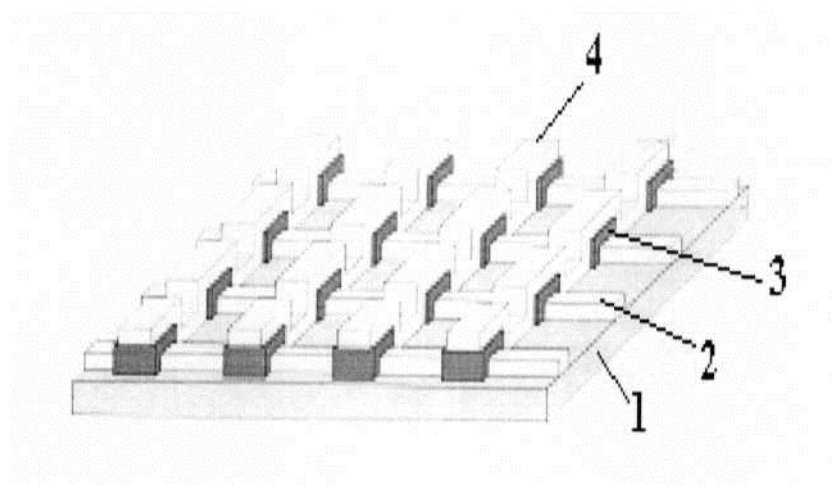
Tu, Chun-Hao, et al. "Improved memory
window for Ge nanocrystals embedded in
SiON layer." Applied physics letters 89.16
(2006): 162105.

(54) ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧА МАТРИЦЯ НА ОСНОВІ МЕМРИСТОРНИХ НАНОЕЛЕКТРОННИХ СТРУКТУР

(57) Реферат:

Пристрій належить до мікро- та наноелектронної техніки і може бути використаний в технологічних процесах побудови запам'ятовуючих пристроїв. Запам'ятовуюча матриця на основі мемристорних наноелектронних структур містить ізольовану підкладку, нижні контактні електроди, верхні контактні електроди, запам'ятовуючий шар запам'ятовуючого пристрою, розташований між двома електродами, опір якого змінюється при проведенні запису і стирання інформації. Мемристорна наноелектронна структура виготовлена на основі оксинітриду кремнію з використанням наночастинок сплаву Pd-Ag та має властивості нейрона, коли передісторія функціонування мемристорної наноструктури визначає її відповідну реакцію. Технічним результатом винаходу є суттєве розширення функціональних можливостей пристрою, що пропонується.

UA 119930 C2



Винахід належить до мікро- та наноелектронної техніки і може бути використаний в технологічних процесах побудови запам'ятовуючих пристроїв на основі мемристорних наноструктур.

Структури, що проявляють мемристорний ефект, мають малі розміри (порядку декількох нанометрів), мають низьку споживану енергію (одиниці пікоджоулів). Використання мемристорів як елементів надвеликих інтегральних схем незалежної резистивної пам'яті з довільним доступом (RRAM) дозволить значно підвищити швидкодію і знизити споживану потужність обчислювальних пристроїв, які використовують даний вид пам'яті. Опір мемристора, як двополюсника, змінюється залежно від загальної величини заряду, що проходить через елемент. Крім цього, мемристор зберігає свій стан при вимкненні живлення. Програмування наномемристора може виконуватись засобами гібридної схеми, що забезпечує його функціонування в режимах логічного елемента та запам'ятовуючого пристрою. Електричні характеристики мемристора визначаються передісторією його функціонування, що схоже на властивості синапсу біологічних нейронних систем.

Відома запам'ятовуюча структура мемристорної пам'яті на основі нанотранзисторів [US Patent № 8507968 B2. - H01 L29/76. - Memristive transistor memory. - D.B. Strukov, P. Stewart, Z.Li. - Aug. 13, 2013], яка містить напівпровідникову підкладку, яка містить області стоку і витоку, між якими сформований канал провідності, затвор, що складається з запам'ятовуючого шару і верхнього контактної електрода. Принцип роботи даної пам'яті заснований на перерозподілі кисневих вакансій в запам'ятовуючому шарі під дією електричного поля.

Дана конструкція матриці пам'яті дозволяє здійснювати запис, довготривале зберігання і зчитування інформації, а також зменшити геометричні розміри функціонального елемента.

Спільними ознаками аналога та пристрою, що заявляється, є: підкладка, верхні контактні електроди та запам'ятовуючий шар матриці пам'яті.

Причинами, що перешкоджають досягненню технічного результату, є: складний технологічний процес формування запам'ятовує шару, який включає проведення високоточних операцій осадження двох шарів оксиду металу з різною концентрацією кисневих вакансій; велика займана елементом площа внаслідок використання латерально розташованого каналу провідності; необхідність формування областей стоку і витоку.

Таким чином функціональні можливості даного пристрою аналога обмежені.

Відомий наноелектронний запам'ятовуючий пристрій на основі мемристорів [US Patent № 8502343 B1. - H01 L29/00. - Nanoelectric memristor device with dilute magnetic semiconductors.- R. Jha, J.O. Long. - Aug.6, 2013], який містить розташовані на підкладці нижні контактні електроди, запам'ятовуючий шар з оксиду металу, що містить області оксиду з різними стехіометричними коефіцієнтами, легованого магнітним матеріалом, і верхні контактні електроди. Принцип роботи даного пристрою заснований на перерозподілі кисневих вакансій в запам'ятовуючому шарі під дією зовнішнього електричного поля, що призводить до зміни провідності шару оксиду металу. Даний наноелектронний пристрій пам'яті на основі мемристорів дозволяє записувати, довгостроково зберігати і видаляти інформацію при прикладенні до електродів різниці потенціалів.

Спільними ознаками аналога та пристрою, що заявляється, є: верхні та нижні контактні електроди та запам'ятовуючий шар, розташований між двома електродами, опір якого змінюється при проведенні запису і стирання інформації.

Причинами, що перешкоджають досягненню технічного результату, є виготовлення елементів пам'яті з використанням складних операцій оптичної літографії суцільної плівки запам'ятовуючого шару, в результаті чого формується матриця пам'яті з досить великими геометричними розмірами.

Таким чином функціональні можливості даного пристрою аналога обмежені.

Найбільш близьким технічним рішенням по сукупності співпадаючих вузлів пристрою є запам'ятовуюча матриця на основі мемристорних наноструктур [Агеев О.А., Смирнов В.А., Авилов В.И. Матрица памяти на основе мемристорных наноструктур. - Патент РФ № 148262 U1. опубл. 27.11.2014 г.], яка містить ізолювану підкладку, нижні контактні електроди, верхні контактні електроди, запам'ятовуючий шар з суцільної плівки оксиду металу, виконаний у вигляді ізолюваних нанорозмірних структур оксиду металу, кожна з яких відноситься до однієї комірки матриці пам'яті. Використання масиву ізолюваних нанорозмірних структур оксиду металу, кожна з яких відноситься до однієї комірки пам'яті, дозволяє зменшити геометричні розміри матриці пам'яті. Пропонований пристрій являє собою матрицю пам'яті на основі мемристорних нанорозмірних структур, виконану у вигляді масиву, що складається з необхідної кількості елементів пам'яті, що дозволяють записувати, зберігати і стирати інформацію.

Спільними ознаками аналога та пристрою, що заявляється, є: ізолювана підкладка, нижні контактні електроди, верхні контактні електроди, запам'ятовуючий шар, розташований між двома електродами, опір якого змінюється при проведенні запису і стирання інформації.

Причиною, що перешкоджає досягненню поставленої мети, є те, що в ньому не може бути реалізовано використання мемристорних наноструктур з властивостями нейрона, а саме коли передісторія функціонування мемристорної наноструктури визначає її відповідну реакцію.

Таким чином функціональні можливості даного пристрою прототипу обмежені.

В основу винаходу поставлена задача створити такий пристрій, в якому, через введення нових елементів, було б можливо реалізувати використання мемристорних наноструктур з властивостями нейрона, а саме коли передісторія функціонування мемристорної наноструктури визначає її відповідну реакцію, що дозволить суттєво розширити функціональні можливості пристрою, що пропонується.

Розв'язання поставленої задачі досягається тим, що запам'ятовуюча матриця на основі мемристорних наноелектронних структур, яка пропонується і включає в себе ізолювану підкладку, нижні контактні електроди, верхні контактні електроди, запам'ятовуючий шар, який виготовлений з мемристорної наноелектронної структури, розташованої між двома електродами, опір якої змінюється при проведенні запису і стирання інформації, додатково містить мемристорні наноструктури з властивостями нейрона, коли передісторія функціонування мемристорної наноструктури визначає її відповідну реакцію.

Відмінною ознакою запам'ятовуючої матриці є введення мемристорних наноструктур з властивостями нейрона, коли передісторія функціонування мемристорної наноструктури визначає її відповідну реакцію.

Ця відмінна ознака пристрою, що пропонується, дозволяє запам'ятовувати та обробляти інформацію, оскільки активність мемристорних наноструктур з властивостями нейрона визначається не тільки типом сигналу, а наявністю короткострокової пам'яті. Останнє дозволяє конкретній мемристорній наноструктурі, що отримувала сигнали в недавньому минулому, значно легше активуватись, що дозволить суттєво розширити функціональні можливості пристрою, що пропонується.

На кресленні представлена схема запам'ятовуюча матриця на основі мемристорних наноелектронних структур. Запам'ятовуюча матриця містить ізолюючу підкладку 1, нижні контактні електроди 2, запам'ятовуючі мемристорні наноелектронні структури 3 та верхні контактні електроди 4.

Пристрій працює наступним чином. При подачі на верхній контактний електрод 4 імпульсу порогової напруги, кисневі вакансії дрейфують в об'ємі запам'ятовуючого шару мемристорної наноелектронної структури 3 в зовнішньому електричному полі, що призводить до зниження контактної різниці потенціалів і ширини потенційного бар'єру на границі нижній контактний електрод - мемристорна наноелектронна структура, в результаті чого збільшується струм, що протікає через комірку пам'яті між нижнім контактним електродом 2 і верхнім контактним електродом 4. При подачі на нижній контактний електрод 2, розташований на ізолюючій підкладці 1, імпульсу порогової напруги кисневі вакансії дрейфують в обсязі запам'ятовуючого шару мемристорної наноелектронної структури 3 в зовнішньому електричному полі в зворотному напрямку, що призводить до збільшення контактної різниці потенціалів і ширини потенційного бар'єру на границі нижній контактний електрод - мемристорна наноелектронна структура, в результаті чого зменшується струм, що протікає через комірку пам'яті між нижнім контактним електродом 2 і верхнім контактним електродом 4.

Ізолююча підкладка 1 виготовлена з кремнію марки КНД товщиною 250 мкм. Нижні контактні електроди 2 виконані з паладію, верхні контактні електроди 4 виконані з титану. Нижні 2 та верхні 4 електроди нанесені на ізолюючу підкладку 1 методом хімічного осадження.

Мемристорна наноелектронна структура 3 товщиною 5 нм виготовлена на основі оксинітриду кремнію з використанням наночастинок сплаву Pd-Ag. Структура оксинітриду кремнію виготовляється за допомогою процесів реактивного магнетронного нанесення компонентів. При цьому застосовують розпилення магнетронних мішеней з додаванням газів кисню та азоту для отримання плівок оксинітриду кремнію [Сейдман Л., Берлін Е. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением. - М. - Техносфера. - 2014. - 256 с.]. Наночастинок сплаву Pd-Ag вибрані тому, оскільки мають високі параметри низького контактного опору в запам'ятовуючих комірках та забезпечують надійну передачу сигналів.

Сплав Pd-Ag виготовляється з використанням лігатури мідь-кремній, що містить 2 мас.% кремнію і решта мідь, і з подальшим введенням 10 мас.% даної лігатури в розплав основних компонентів паладію і срібла в індукційній печі в атмосфері інертного газу аргону. Температурний інтервал сплаву визначався методом диференційно-термічного аналізу. Склад

сплаву контролювався за допомогою кількісного хімічного аналізу. Після одержання сплав піддавався гомогенізаційному відпалу в атмосфері інертного газу аргону.

Запропонований сплав Pd-Ag на основі паладію, що містить срібло, додатково містить кремній і мідь при наступному співвідношенні компонентів, мас. %: паладій - 50,0; срібло - 38; кремній - 0,1; мідь - 11,99 [Чистяков Ю.Д. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. Том 1. Физико-химические основы технологии микроэлектроники. - М.: Бином. Лаборатория знаний. - 2010. - 392 с.].

Мемристорна наноелектронна структура здатна змінювати свій опір в залежності від протікання через неї заряду у вигляді інтегралу струму за час роботи. Для того, щоб перемикає мемристор в активний стан, використовувались наночастинки сплаву Pd-Ag. Як тільки на мемристор подається струм, елемент нагрівається. Його нагрів призводить до розсіювання сплаву Pd-Ag в твердому середовищі мемристора. Виникають "дроти", які з'єднують два кінці мемристора. В результаті мемристор стає провідником електричного струму.

При відключенні електричного струму, структура не буде перебувати в стані з низьким опором внаслідок мемристорного ефекту. Останнє дозволяє конкретній мемристорній наноструктурі, що отримувала сигнали в недавньому минулому, значно легше активуватись, що дозволить суттєво розширити функціональні можливості пристрою, що пропонується. В цьому випадку виникає явище перекоонденсації. Це процес конденсації пересиченої фази речовини на пізніх відрізках часу розвитку, коли закінчено етап нуклеації, а зростання великих зерен нової фази відбувається за рахунок більш дрібних без їх злипання.

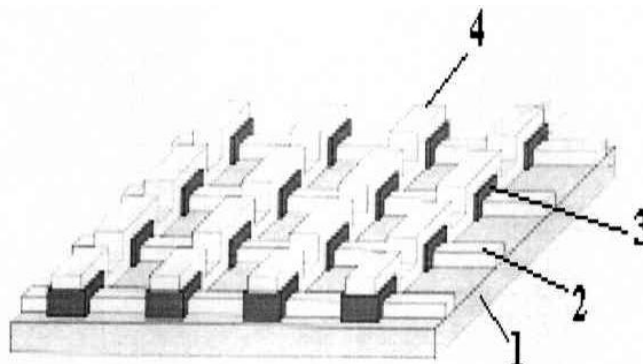
У разі мемристора це означає те, що сплав Pd-Ag не знаходиться довгий час у вигляді нанодроту. Частинок такої структури збираються разом, поступово укрупнюючись. Менші частки одного і того ж елемента збираються разом. Мемристор поводить себе подібно нейрону. Якщо повторний сигнал був поданий на мемристор майже відразу після отримання першого сигналу, то його провідність з наявністю сплаву Pd-Ag залишається колишньою, тобто - високою. Але якщо на мемристор довгий час не подавати струм, нанодріт розділяється на менші частинки, які розходяться по об'єму мемристора, і провідність його падає до початкових значень.

Таким чином, запропонований пристрій являє собою матрицю пам'яті на основі мемристорних наноелектронних структур, виконану у вигляді масиву, що складається з необхідної кількості елементів пам'яті, що дозволяють записувати, зберігати і стирати інформацію.

Сучасний рівень мікро- та наноелектроніки дозволяє розробити та побудувати запам'ятовуючу матрицю на основі мемристорних наноелектронних структур, що заявляється.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

Запам'ятовуюча матриця на основі мемристорних наноелектронних структур, яка містить ізолювану підкладку, нижні контактні електроди, верхні контактні електроди, запам'ятовуючий шар запам'ятовуючої матриці, розташований між нижніми та верхніми електродами, яка відрізняється тим, що мемристорна наноелектронна структура виготовлена на основі оксинітриду кремнію з використанням наночастинок сплаву Pd-Ag.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601